

نمایش هیجان‌انگیز فیزیک

برل واکر

مترجم: محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر

کشسانی که به پاهای او و پرتگاه بسته شده است، از سکویی بلند می‌پرد. این کار در «روز لودگی آوریل»^۳ سال ۱۹۷۹ شروع شد (باید هم در چنان روزی شروع می‌شد!) هنگامی که اعضای باشگاه ورزش‌های خطرناک از پلی در بریستول انگلستان پریدند. فرض کنید شما با این طناب از پلی می‌پرید (و البته در فاصله‌ای کم از هر آنچه که در زیرتان قرار دارد، متوقف می‌شوید، که البته همواره رخ نمی‌دهد) در کجا بیشترین نیرو و شتاب را حس می‌کنید؟ اگر از این تجربه می‌ترسید و تصمیم دارید فقط از نیمی از طول طناب بانگی استفاده کنید، آیا این مقدار نیرو و شتاب نصف می‌شود؟

پاسخ. وقتی به پایین‌ترین نقطه می‌رسید که در آن‌جا طناب بانگی مسیر حرکت شما را وارون می‌کند، بیشترین نیرو را حس می‌کنید و در معرض بیشترین شتاب (هر دور به بالا) قرار می‌گیرید. اگر بتوان این طناب را دقیقاً یک فنر ایده‌ال در نظر گرفت که از آن در کتاب‌های درسی استفاده می‌شود، آن‌گاه مقادیر بزرگ‌ترین نیرو و

شیرجه به زمین و پرش با طناب بانگی —
در جزیره‌ی پنته‌کاست^۱ واقع در نیوهمبریدز^۲ یک آزمون بومی برای اثبات قدرت (تشخص طلبی)، شیرجه زدن از سکویی بلند به سطح زمین است که به پشت‌گرمی رشته‌های گیاه بالارونده‌ی لیانا صورت می‌گیرد که یک سر آن به دور پاها و سر دیگرش به بالای سکو محکم شده است تا پیش از رسیدن به زمین، سقوط را متوقف کند. در ماه مه ۱۹۸۲، مرد جوانی این پرش را از ارتفاع بیش از ۸۱ پا انجام داد. درست پیش از آن که ساقه‌های گیاه او را متوقف کند، سرعتش حدود ۵۵ کیلومتر بر ساعت گزارش شد. شتاب او هنگام متوقف شدن ۱۱۰g برآورد شد (۱۱۰ برابر شتاب سقوط آزاد). هیچ گزارشی از این‌که او پس از این پرش، درست توانست راه برود یا خیر، وجود ندارد.
نوع ملایم‌تر پرش با رشته‌های گیاه، که البته گاهی به جراحی و مرگ می‌انجامد، پرش بانگی است که در آن شخص با طناب

حرکت می کنید، اتاقک رو به بالا در حرکت است، و اندکی بعد... خوب، نیازی به بیان جزئیات ناخوشایند آن نیست.

داستان کوتاه

بمبافکن به ساختمان امپایر استیت^۴ برخورد می کند

در ساعت ۴۵:۹ روز شنبه، ۲۸ ژوئیه ۱۹۴۵، یک بمبافکن B-۲۵ ارتش ایالات متحده در حالی که در یک مه غلیظ در پرواز بود به طبقه‌های هفتادو هشتم و هفتادونهم ساختمان امپایر استیت شهر نیویورک برخورد کرد. سه سرنشین هواپیما و ده کارگر داخل ساختمان کشته، و ۲۶ نفر دیگر زخمی شدند. اگر آن روز، یک روز کاری معمول بود، تلفات می توانست بسیار بیشتر شود.

برخورد باعث جدا شدن بال‌های هواپیما شد و بدنه و دو موتور آن را به داخل ساختمان پرت کرد که در آنجا سوخت و چنان شعله‌ور شد که به رغم وجود مه، ناظران خیابان می توانستند آن را ببینند. یکی از موتورها از داخل ساختمان گذشت و با خروج از طرف دیگر، بر بام ساختمان ۱۲ طبقه‌ای فرود آمد، و باعث آتش‌سوزی دیگری شد.

چون هواپیما در هنگام برخورد به ساختمان به یکی از تیرهای حامل^۵ ناحیه‌ی آسانسور برخورد کرده و به برخی از کابل‌های آسانسور آسیب رسانده بود، یک متصدی آسانسور که در آسانسور طبقه‌ی هفتادوپنجم را باز کرده بود، بر اثر انفجار هواپیما به بیرون پرت شد و سپس بر اثر سوخت شعله‌وری که از طریق چاه پایین آمده بود، آتش گرفت. دو کارگر شعله‌های آتشی را که از او زبانه می کشید خاموش کردند. پس از این کمک‌رسانی، آن‌ها او را تا آسانسور دیگری همراهی کردند که در آنجا متصدی آسانسور قبول کرد که او را برای کمک‌های پزشکی بیشتر به طبقه‌ی اول برساند. همین که در بسته شد، کابل‌های آسانسور با صدایی شبیه به شلیک تفنگ از هم گسیخته شدند، و سپس اتاقک آسانسور به زیرزمین سقوط کرد.

امداد رسانی که اندکی بعد به زیرزمین رسیدند، انتظار داشتند که هر دو سرنشین را مرده بیابند. ولی، پس از آن که امداد رسانیان با سوراخ کردن دیوار زیرزمین به آسانسور رسیدند، هر دو را زنده یافتند، گرچه به شدت آسیب دیده بودند. آن دو از بیش از هفتادوپنجم طبقه سقوط کرده بودند، ولی ظاهراً تجهیزات ایمنی آسانسور، سقوط

شتاب، مستقل از طول طناب و در نتیجه مستقل از مسافتی می شود که فرو می افتید. گرچه در سقوط کوتاه‌تر، طناب بانگی سرعت پایین سوی کمتری را باید متوقف کند، اما، طناب کوتاه‌تر سفت‌تر خواهد بود (مانند فنر کوتاه‌تری که سفت‌تر است) و سرعت کمتری شما را با همان شتابی تا صفر کاهش خواهد داد که طنابی کمتر سفت، سرعت بزرگ‌تر را به صفر کاهش می دهد.

شتاب بالاسویی که جهنده را متوقف می کند، گاهی برای آسیب رساندن به وی به اندازه‌ی کافی بزرگ است. چشم‌ها به‌ویژه آسیب‌پذیرند، زیرا سر در حین توقف رو به پایین است، و فشار خون زیاد در چشم‌ها می تواند موجب خونریزی شود.

گیر افتادن در آسانسور در حال سقوط

گاهی اتفاق می افتد که در یک آسانسور قدیمی، بی هیچ دستگاه ایمنی پشتیبان، ناگهان کابل پاره می شود و اتاقک آسانسور سقوط می کند. چکار کنید تا شانس زنده ماندن خود را، هر چند که کم است، بهینه سازید؟ مثلاً، آیا باید درست پیش از برخورد اتاقک با ته چاه آسانسور، به طرف بالا بپرید؟

پاسخ. احتمالاً بهترین کار آن است که کف اتاقک دراز بکشید. شاید فکر کنید این کار غیرممکن است زیرا هم شما و هم کف اتاقک فرو می افتید، ولی بدون شک هم ریل‌های هدایت‌کننده‌ی که اتاقک در امتداد آن‌ها می سرده، و هم کشش هوایی که در آن سقوط می کند، نیروی کششی به آسانسور وارد می کنند. بنابراین، می توانید خود را روی کف اتاقک بیندازید. شما باید روی کف اتاقک، ترجیحاً از پشت دراز به دراز بخوابید. نکته‌ی مهم این است که باید نیروی وارد بر شما در بزرگ‌ترین سطح ممکن پخش شود.

بی حرکت ایستادن عاقلانه نیست، زیرا در این صورت نیرو در سطح کوچک‌تری، مثل سطح مقطع مچ پایتان، پخش می شود. اگر برخورد شدید باشد، مچ پایتان خرد می شود و بدنتان روی کف اتاقک داغان خواهد شد.

شاید پرش رو به بالا در آخرین لحظه (بدون شک تشخیص این زمان در یک اتاقک بسته غیرممکن است) بدترین کار ممکن باشد. اگر در حین سقوط، به طرف بالا بپرید، احتمالاً فقط سرعت پایین سوی خود را کم خواهید کرد. فرض کنید اتاقک از چاه آسانسور کمانه کند. در این صورت هنگامی که شما رو به پایین

را به اندازه‌ی کافی گُند کرده بود که از میزان برخورد با کف چاه آسانسور بکاهد. هیچ گزارشی در مورد این که آن‌ها در حین سقوط چه کرده‌اند وجود ندارد، ولی به دلیل ترس و تنه‌ای که به هم می‌زدند، بعید می‌دانم که هنگام سقوط ایستاده بودند.

زمین خوردن در حین مبارزه، فرود با چتر نجات

وقتی کسی در جودو یا کشتی کج زمین می‌خورد، چگونه باید فرود آید تا احتمال صدمه خوردن را کمینه کند؟ وقتی کشتی‌گیران حرفه‌ای خودشان یا حریفشان را روی تشک می‌اندازند، چگونه می‌توانند آسیب نبینند؟ در هر یک از این موارد، اگر شخصی به درستی فرود نیاید، به احتمال زیاد استخوان‌هایش خرد می‌شود یا اعضای داخلی بدنش آسیب می‌بیند.

چتر باز چگونه باید فرود آید تا خطر آسیب‌دیدگی را کاهش دهد؟ گرچه سرعت پایین سوی چتر باز به میزان زیادی کم می‌شود، با این حال این سرعت هنوز قابل ملاحظه و معادل پریدن از طبقه‌ی دوم ساختمان است.

پاسخ. باید طوری فرود آید که ناحیه‌ی تماس بیشینه شود. این مهارت، نیروی وارد بر واحد سطح بخشی از بدن را که به زمین می‌خورد کاهش می‌دهد و احتمال این که استخوانی تا وضعیت شکستگی، خم شود یا پیچ بخورد، و یا عضو داخلی بدن تا وضعیت پارگی تحت فشار قرار گیرد، کم می‌کند. اگر در جودو یا کشتی کج زمین خوردید، باید هنگام برخورد به زمین تلی روی تشک بیفتید. بازو به ناحیه‌ی تماس می‌افزاید، و این کار به بلند شدن بدن و کاهش نیروی برخورد وارد بر قفسه‌ی سینه کمک می‌کند. کشتی‌گیران حرفه‌ای معمولاً وضعیت بدنی مناسبی دارند و می‌توانند سقوط از ارتفاع زیاد را تحمل کنند (مانند وقتی که از بالای طناب‌های رینگ روی حریف خود که روی تشک خوابیده است، می‌پرند). آن‌ها همچنین روی تشکی مبارزه می‌کنند که بسیار انعطاف‌پذیر است. وقتی بر آن فرود می‌آیند، مدت برخورد بر اثر انعطاف‌پذیری تشک طولانی می‌شود، و بنابراین نیروی برخورد کاهش می‌یابد.

چتر باز طوری تعلیم می‌بیند که ابتدا پاشنه‌های پایش با زمین تماس پیدا کند، سپس روی زمین ولو شود و بغلند و زانوانش را خم کند که کنار پا و سپس پشت قفسه‌ی سینه‌اش روی زمین قرار گیرد. این روش دو امتیاز دارد: زمان برخورد را طولانی می‌کند (و

بنابراین نیروی وارد بر چتر باز کم می‌شود) و نیروی برخورد را در سطح بزرگ‌تری پخش می‌کند. اگر قرار بود چتر باز ایستاده به زمین برخورد کند، فشار وارد بر استخوان‌های قوزک پایش احتمالاً این استخوان‌ها را از جا می‌کند.

تخت‌های میخ‌دار

من نمایش تخت‌های میخ‌دار را پس از مشاهده‌ی اجرای آن در بخشی از برنامه‌ی یک کاراته‌ی نمایشی وارد آموزش فیزیک کردم. نمایش من در دو بخش اجرا می‌شود: در بخش اول، بدون پیراهن بین دو تخت میخ‌دار، ساندویچ می‌شوم، در حالی که یک یا دو نفر روی این ساندویچ ایستاده‌اند. گرچه میخ‌ها آسیب زیادی می‌رسانند، ولی به ندرت بدنم را سوراخ کردند. چه چیزی خطر سوراخ شدن را کاهش می‌دهد؟

در بخش دوم، دوباره میان دو تخت میخ‌دار ساندویچ می‌شدم، در حالی که دستیارم یک قطعه ساروج نیم‌سوخته را روی تخت قرار می‌داد و سپس با پتک سنگین و بلندی آن را خرد می‌کرد. این بخش به چند دلیل خطرناک است که یکی از آن‌ها تکه‌پاره‌هایی است که می‌تواند به چشم‌ها و دندان‌ها برخورد کنند. (یک بار که داشتم «شوی» کتاب نمایش هیجان‌انگیز فیزیک را با نمایش تخت‌های میخ‌دار به عنوان آخرین آن‌ها اجرا می‌کردم، دستیار همیشگی‌ام نتوانست با من بیاید، و من از دستیار استادی که دعوت‌م کرده بود خواستم کمک کند. او پتک را محکم چرخاند، ولی با زاویه‌ای فرود آورد که بیشتر خرده‌های ساروج به صورتم خورد. یکی از آن خرده‌ها شکاف عمیقی در چانه‌ام به وجود آورد، و وقتی برای اظهارنظرهای نهایی بلند شدم درحالی که تلوتلو می‌خوردم خون فراوانی روی بدن، شلوار، کفش‌هایم فرو می‌ریخت. دیگر هیچ‌وقت دچار چنین سرنوشت دردناک یا واکنش مخاطبان در این دست از سخنرانی‌ها نشدم). چرا استفاده از قطعه‌ای بزرگ ایمن‌تر از قطعه‌ای کوچک است؟

پاسخ. وقتی مردم روی من می‌ایستند، وزن آن‌ها روی تعداد زیاد میخ تخت بالایی پخش می‌شود، طوری که نیروی حاصل از هر میخ معمولاً برای سوراخ کردن پوست کافی نیست. نیروی حاصل از میخ‌های پشت من بزرگ‌تر است، زیرا باید وزن من را هم تحمل کنند. به تجربه دریافته‌ام، وزن کسانی که روی من می‌ایستند چقدر باشد تا سوراخ نشوم. (فکر نکنید درد نمی‌کشم، زیرا این نمایش

بسیار دردناک است.)

قطعه‌ی بزرگی که خرد می‌شود نه تنها به جلوه‌ی نمایشی این نمایش می‌افزاید، بلکه ایمنی را نیز به سه طریق زیاد می‌کند. (۱) اگر محکم فشرده شوم، قطعه و تخت بالایی به سرعت رو به پایین شتاب می‌گیرند؛ قطعه‌ی بزرگ‌تر به دلیل جرم بیشتر خود، این شتاب را کم می‌کند. (۲) بیشتر انرژی پتک به جای آن که موجب حرکت شود، صرف خرد کردن قطعه می‌شود. (۳) این واقعیت که قطعه از هم می‌پاشد، به معنی آن است که زمان برخورد، بیشتر از موردی است که قطعه وجود ندارد، و بنابراین نیروی برخورد کوچک‌تر از آن حالت است. وقتی برای نخستین بار نمایش تخت‌های میخ‌دار را در کلاس اجرا کردم، از یک آجر کوچک به جای قطعه‌ای بزرگ استفاده کردم. ضربه‌ی پتک دستیارم باعث شد برای چند دقیقه گیج و مبهوت در کف اتاق باقی بمانم.

قاشق‌های آویزان

یک قاشق سبک و بینی خود را پاک کنید، به قسمت گرد قاشق کمی بدمید و سپس آن را طوری نگه دارید که آن قسمت مقابل بینی شما قرار گیرد. با تغییر محل قاشق و رها کردن تدریجی آن، چسبندگی قاشق به بینی‌تان را آزمایش کنید. وقتی حس کردید قاشق سر جایش باقی می‌ماند، آن را رها کنید. این دقیقاً همان چیزی است که به دنبالش بودید: قاشق از بینی شما آویزان می‌شود. حالا چه کسی می‌تواند در مقابل شما مقاومت کند؟!

چرا قاشق آویزان می‌شود؟ چطور دمیدن در آن به آویزان شدنش کمک می‌کند؟ آیا می‌توانید قاشق‌ها را از قسمت‌های دیگر صورت خود، یا اگر مایل به کاری از این دست هستید، از سایر بخش‌های بدن خود بیاویزید؟

چه مدت قاشق می‌تواند از بینی شما آویزان باشد؟ من مدت‌هاست که مدعی رکورد ۱ ساعت و ۱۵ دقیقه هستم، که در یک رستوران فرانسوی در تورنتو به جای گذاشته شد. ولی، در واقع این رکورد در یک توقفگاه کامیون در یانگ ستون^۲ آهایو به جای گذاشته شد، که عضو تنومند یک گروه موتورسوار پیشنهاد کرد که شکل بینی مرا تغییر دهد تا قاشق بهتر آویزان شود.

پاسخ. اگر قاشق و بینی شما چرب نباشد، اصطکاک کافی بین قاشق و پوست وجود دارد تا قاشق را در جای خود نگه دارد.

قاشق به شرطی پایدار می‌ماند که مرکز جرم آن در راستای خط قائمی باشد که از نقطه‌ی چسبیدن آن به بینی شما می‌گذرد. در غیر این صورت، وقتی قاشق را رها می‌کنید، گرانی آن را می‌چرخاند و این حرکت ممکن است موجب جدا شدن قاشق از بینی شود. چگالش حاصل از رطوبت نفس شما به چسبیدن قاشق به بینی‌تان کمک می‌کند. گرچه لایه‌ی نسبتاً ضخیم آب مانند روان‌کننده عمل می‌کند، ولی لایه‌ی بسیار نازک آب، به دلیل جاذبه‌ی الکتریکی بین مولکول‌های آب و سطح نزدیک به هم قاشق و پوست، مانند یک چسب عمل می‌کند.

ردّ تخته‌سنگ‌های کوچنده

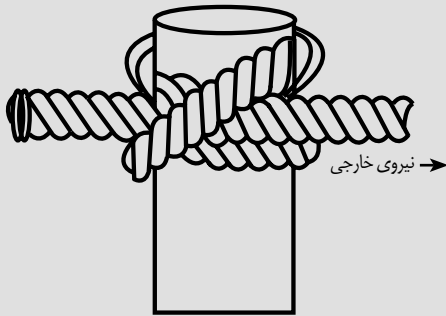
برخی اوقات سنگ‌های بستر دریاچه‌های خشک کالیفرنیا و نوادا ردهای طویلی از خود در صحرای خشک تفتیده به‌جا می‌گذارند. این ردها ممکن است ده‌ها متر طول داشته باشند، و محدوده‌ی جرم آن‌ها می‌تواند به بیش از ۳۰۰ کیلوگرم برسد. چه چیزی موجب این ردها می‌شود؟ آیا این تخته‌سنگ‌ها وقفه‌ای در کار قمارخانه‌های لاس‌وگاس ایجاد می‌کنند؟ آیا موجودی غیرعادی آن‌ها را از این طرف و آن طرف می‌کشد؟ این عامل هرچه که باشد، تولید این ردها دشوار است، زیرا اصطکاک بین تخته سنگ و بستر صحرا بی‌شک بزرگ است.

پاسخ. نظریه‌های بسیاری در پی توضیح این هستند که چگونه سنگ‌ها این ردها را بر جای می‌گذارند. یکی از آن‌ها، یخ زدن نادر آب باران است. احتمالاً سنگ‌هایی که در لایه‌ی نازکی از یخ گیر کرده‌اند گاهی در معرض تندبادها قرار می‌گیرند و وقتی این تندبادها بتوانند سنگ‌ها و لایه‌ی یخ را تکان دهند ردهایی در کف صحرا تولید می‌شود.

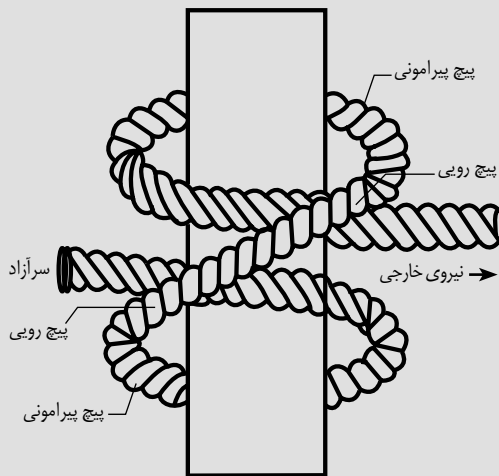
نظریه‌ی دیگر آن است که سنگ هنگامی ردّی از خود برجای می‌گذارد که باد آن را در یکی از باران‌های سیل‌آسای نادر آن منطقه، به حرکت در آورد. وقتی آب زمین را لغزنده کند، باد توفان می‌تواند سنگ را طوری روی زمین بکشد یا بغلتاند که ردّی از خود برجای گذارد. اصطکاک میان این سنگ و زمین وقتی کمینه است که آب، لایه‌ی نازکی از گل‌ولای را روی سطح سفت و ساکنی تشکیل دهد. آن‌گاه یک تندباد می‌تواند سنگ را ناگهان از جایش تکان دهد. با شروع حرکت، سنگ برای تداوم آن به نیروی کمتری نیاز دارد.

گره‌زدن‌ها

یک سر گره‌ی دو خفت^۲ که در شکل ۱- الف نشان داده شده آزاد و سر دیگر آن تحت تأثیر نیروی خارجی است. آیا اگر این نیرو افزایش یابد گره می‌تواند سر بخورد، یعنی آیا سر آزاد آن می‌تواند طوری از میان گره کشیده شود که گره باز شود؟ یا گره محکم‌تر می‌شود؟



(الف) گره‌ی دو خفت



(ب) اجزای یک گره‌ی دو خفت

پاسخ. برای تعیین این‌که آیا گره تحت تأثیر نیروی دلخواه بزرگی سفت یا باز می‌شود، نیروهای اصطکاک و کشش دخیل در گره را می‌توان به لحاظ ریاضی تحلیل کرد. در این‌جا، با شروع از سر آزاد که تحت هیچ کششی نیست (شکل ۱ - ب)، تحلیل ساده‌ای را ارائه می‌کنیم. طناب با پیچیدن روی بخش دیگر از زیر آن می‌گذرد - که بخش بالایی آن بر بخش پایین‌ترش فشار وارد می‌کند. اگر بخواهیم سر آزاد از میان این پیچ‌خوردگی لیز نخورد، اصطکاک حاصل از این فشار، نباید کوچک‌تر از کششی باشد که می‌خواهد سر آزاد را از بین پیچ‌خوردگی بکشد.

پس، طناب در دوبار پیچ خوردن دور میله گره می‌خورد. سر این بخش پیچیده شده که به سر آزاد نزدیک‌تر است تحت کشش اندکی قرار دارد، در حالی‌که سر دیگر این بخش تحت کشش بزرگ‌تری است. اگر این بخش ساکن باشد، اصطکاک بین طناب و میله باید به اندازه‌ی کافی بزرگ باشد تا این اختلاف کشش میان دو انتها را تحمل کند.

سرانجام، طناب از یک پیچ‌خوردن روی طناب دیگر می‌گذرد. طرف دیگر طناب تحت کشش دلخواهی است که نیروی خارجی تولید می‌کند. اگر بخش بالایی آن به حد کافی بر بخش پایین آن فشار وارد کند، پیچ‌خوردگی پایدار می‌ماند.

بنابراین، در نقاط روی طناب در گره‌ی دو خفت، سه شرط اصطکاک وجود دارد. اگر پیچ‌خوردن از رو یا پیچ‌خوردن‌های دور طناب بسیار محکم باشند، گره تحت تأثیر هیچ نیروی خارجی‌ای باز نخواهد شد. ولی اگر یکی از آن‌ها شل باشد، آن‌گاه در صورتی‌که نیروی وارد به اندازه‌ی کافی بزرگ باشد، گره باز خواهد شد. انواع دیگری از گره‌ها وجود دارند که تحت تأثیر نیروی خارجی بزرگ باز می‌شوند، حتی اگر پیچ‌خوردن از رو و پیچ‌خوردن‌های دور، هر دو محکم پیچیده شده باشند، در حالی‌که برخی دیگر از گره‌ها بر اثر هر نیروی خارجی‌ای خودبه‌خود محکم می‌شوند، و بنابراین تنها در صورتی باز می‌شوند که طناب بین گره و نیرو پاره شود.

پانویس

1. Pentecost
۲. New Hebrides (منطقه‌ای مشتمل از ۵۰۰ جزیره در شمال غرب اسکاتلند، مترجم).
3. April Fool's Day
4. Empire State
5. girders
6. Yonngstown
7. clove hitch

منبع

Jearl Walker, The Flying Circus of Physics, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2007.